

HIDRODINÂMICA DO ESCOAMENTO DE ÓLEO E ÁGUA EM DUTOS COM SEÇÃO TRANSVERSAL ELÍPTICA VIA CFX

Jéssica Lacerda de Oliveira¹; Jéssica Barbosa da Silva do Nascimento²; Gutemberg Santiago de Araujo³; Antonio Gilson Barbosa de Lima⁴

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica – jessicalacerda07@hotmail.com

² Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica – nascimentojessicabarbosa@gmail.com

³ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica – gutemberg.araujo91@gmail.com

⁴ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica – antonio.gilson@ufcg.edu.br

RESUMO

O modal dutoviário é usado pela indústria do petróleo como principal forma de transporte da produção de fluidos multifásicos, onde gasodutos e oleodutos de seção transversal circular fazem a interligação das regiões produtoras até os centros consumidores. O aumento na produção de óleo direciona o interesse da indústria do petróleo para estudos que tratem do aumento da vazão dos fluidos nos sistemas de transporte, utilizando tecnologias que permitam uma maior eficiência nesses sistemas. Equipamentos industriais como: trocadores de calor, condensadores de vapor, pré-aquecedores de ar através de vapor, óleo ou água quente, utilizam tubulações de seção transversal elíptica. A utilização da seção transversal elíptica se justifica pela superioridade técnica apresentada em relação às seções circulares. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é estudar o escoamento de óleo e água em dutos cilíndricos de seção transversal elíptica por meio de simulação numérica usando o *software* Ansys CFX. Os resultados obtidos neste trabalho indicam que a perda de carga se mostrou influenciada pela velocidade de entrada do óleo.

Palavras-chave: Duto elíptico, escoamento bifásico, simulação, CFX.

1. INTRODUÇÃO

A indústria do petróleo utiliza o modal dutoviário como principal forma de transporte da produção de fluidos multifásicos (gás, óleo e água). O escoamento simultâneo de mais de uma fase é denominado escoamento multifásico e pode ser classificado segundo o número de fases constituintes. Durante o transporte de petróleo, o escoamento bifásico

é frequentemente observado nas tubulações de escoamento, ocorrendo em trechos horizontais, inclinados ou verticais.

Devido ao caráter complexo do escoamento multifásico diversas metodologias foram desenvolvidas com a finalidade de identificar os padrões de escoamento e estimar o gradiente de pressão no duto. O conhecimento desses parâmetros é essencial para o dimensionamento dos dutos e dos equipamentos de produção, otimizar a



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

produção do óleo, reduzir os custos e aumentar a eficiência na extração do óleo nos reservatórios, e as vazões de fluidos nos sistemas de transporte (PACHECO *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2000).

Sarmiento *et al.* (2014) estudaram o comportamento hidrodinâmico do escoamento bifásico óleo-água em um duto de 2 metros de comprimento com vazamento. Para isto foi utilizado técnicas de CFD com o objetivo de avaliar a influência do vazamento no comportamento do escoamento. Com o estudo, os autores comprovaram a influência do mesmo no gradiente de pressão.

Já Santos *et al.* (2013) estudaram o escoamento trifásico de óleo, água e gás em dutos cilíndricos circulares verticais com vazamento e observaram que quanto maior o diâmetro do vazamento, maior são as diferenças causadas nos perfis de pressão. Segundo os autores, quanto menor o vazamento, maior a dificuldade que um sensor tem de detectá-lo.

Tubulações de seção transversal elíptica são utilizadas na indústria em trocadores de calor, condensadores de vapor, pré-aquecedores de ar através de vapor, óleo ou água quente, entre outros. Sua utilização se justifica por apresentar superioridade técnica principalmente em relação aos de seções circulares (ZHU *et al.*, 2004).

Tendo em vista a escassez de estudos relacionados ao tema de tubulações de seção transversal elíptica, surgiu, então, a necessidade de conhecer melhor tais dutos. O objetivo é obter informações para o comprimento de entrada hidrodinâmico, distribuições de velocidade e de pressão, e do comportamento dos fluidos em oleodutos de seção transversal elíptica.

Neste sentido, este trabalho tem por objetivo, analisar o escoamento interno de óleo e água em dutos cilíndricos de seção transversal elíptica através da dinâmica dos fluidos computacional (CFD) (Ansys CFX). Deseja-se, portanto, obter novas informações sobre este escoamento, que possam ser úteis no aumento da vazão dos fluidos nos sistemas de transporte, proporcionando assim a otimização de processos produtivos e maior eficiência operacional.

2. METODOLOGIA

2.1. O problema físico e a geometria

A geometria em estudo corresponde a um duto horizontal com seção transversal elíptica de 10m de comprimento, como ilustrado na Figura 1.

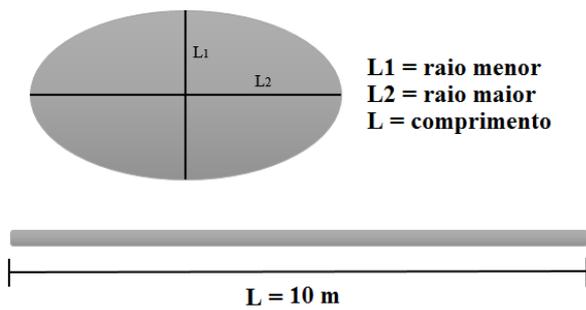


Figura 1: Representação da geometria desenvolvida para o estudo.

Inicialmente, a geometria foi construída no Autodesk Inventor Professional 2015 e depois exportada para o ICFM CFD 15.0. As Figuras 2 e 3 representam a malha utilizada na simulação, constituída de 581661 elementos.

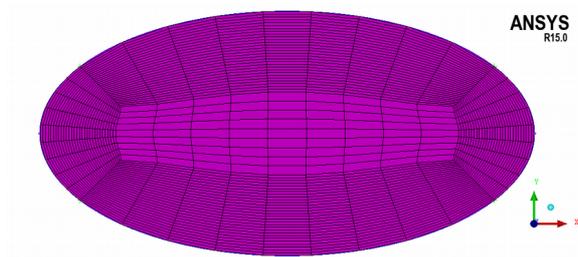


Figura 2: Seção de entrada da malha utilizada na simulação.

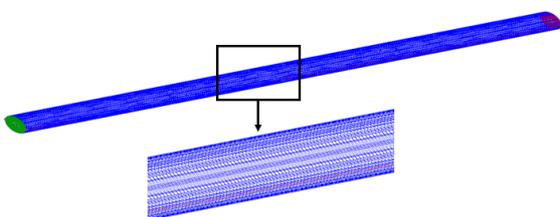


Figura 3: Parede da malha utilizada na simulação.

Tabela 1 apresenta os dados geométricos do duto em estudo.

Tabela 1: Dados geométricos do duto em estudo.

Parâmetros	Valor
L ₂ (m)	0,2
L ₁ (m)	0,1
L (m)	10,0
Razão de aspecto	2,0
Diâmetro hidráulico (m)	0,2594

2.2. Modelagem matemática

Para o modelo matemático proposto, as seguintes considerações foram feitas: escoamento bifásico de óleo e água sem transferência de calor, escoamento permanente, laminar e incompressível. Com base nessas considerações, a modelagem matemática foi baseada nas seguintes equações:

a) Equação da conservação da massa:

$$\frac{\partial}{\partial t} (f_i \rho_i) + \nabla \cdot (f_i \rho_i \vec{U}_i) = 0 \quad [1]$$

onde i corresponde a cada fase presente no escoamento, f é a fração volumétrica, ρ é a densidade e $\vec{U} = (u, v, w)$ corresponde ao vetor velocidade.

b) Equação da quantidade de movimento:



$$\frac{d}{dt} (f_i \rho_i \vec{U}_i) + \nabla \cdot (\rho_i \vec{U}_i \vec{U}_i) - f_i \rho_i + \nabla \cdot (f_i \mu_i \vec{U}_i + (\vec{U}_i)^T) = \frac{d}{dt} (S_{Mi} + M_i) \quad [2]$$

onde μ_i representa a viscosidade efetiva da fase i , S_{Mi} descreve as forças de momento devido às forças externas e M_i corresponde às forças interfaciais (força de arraste).

A força interfacial entre as fases α (contínua) e β (dispersa) é dada pela Equação 3,

$$M_i = \frac{1}{8} C_D \rho_\alpha A |U_\beta - U_\alpha| (U_\beta - U_\alpha) \quad [3]$$

onde C_D e A correspondem ao coeficiente de arraste e a densidade da área interfacial.

O coeficiente de arraste foi modelado de acordo com o modelo de *Schiller-Naumann*, como segue:

$$C_D = \frac{24}{Re} (1 + 0,15 Re^{0,687}) \quad Re < 1000$$

$$C_D = 0.44 \quad Re > 1000 \quad [4]$$

c) Equações auxiliares:

Para um duto cilíndrico com seção transversal elíptica é importante destacar a

equação para o cálculo do diâmetro hidráulico (D_h) (KAKAÇ et al., 1987; ROHSENOW et al., 1998),

$$D_h = \frac{\pi L_1}{E} \quad [5]$$

onde E representa a integral elíptica completa de 2º espécie (WOLFRAM, 2003).

Segundo Kakaç et al. (1987), o comprimento de entrada hidrodinâmico (L_{her}) é dado pela Equação 6.

$$L_{her} = \frac{0.5132}{\pi} \left(\frac{L_1}{D_h Re_{Dh}} \right) \quad [6]$$

2.3. Condições iniciais, de contorno e propriedades dos fluidos

As condições iniciais e de contorno adotadas foram as seguintes:

a) Na seção de entrada: adotou-se que o óleo e a água são introduzidos com um valor prescrito e não nulo para a componente velocidade. As frações volumétricas para o



óleo e água foram 0,95 e 0,05 respectivamente.

b) Na parede do duto: considerou-se a condição de não deslizamento, ou seja, $U_x=U_y=U_z=0\text{m/s}$.

c) Na saída do duto: adotou-se a condição de pressão estática constante igual a 0,98 atm.

Os casos avaliados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Casos estudados.

Caso	Velocidade do óleo (m/s)	Velocidade da água (m/s)
1	0,5	3,0
2	3,0	3,0
3	5,0	3,0

As propriedades dos fluidos utilizadas na simulação estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Propriedades dos fluidos.

Propriedades físicas	Água	Óleo
Densidade (kg/m^3)	997,0	905,0
Viscosidade dinâmica (Pa.s)	$8,89 \times 10^{-4}$	4,0
Tensão superficial (mN/m)	0,072	
Diâmetro da partícula (m)	5×10^{-5}	-

A Tabela 4 apresenta os valores obtidos para o comprimento de entrada hidrodinâmico analítico e numérico para todos os casos estudados. Fazendo a comparação percebe-se que o caso 1 apresentou a maior discrepância, com um valor obtido numericamente de 3,08 vezes maior do que o valor calculado analiticamente.

Tabela 4: Valores obtidos para o comprimento de entrada hidrodinâmico analítico e numérico.

Método	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Analítico	0,46m	2,78m	4,64m
Numérico	1,42m	6,12m	8,97m

Nas Figuras 4-7 estão representados o comportamento do campo de velocidade do óleo ao longo do duto para o caso 2 sobre o plano xy. É possível observar que no centro do duto a velocidade é máxima, já nas paredes a velocidade é nula devido a condição de não escorregamento. Pode-se observar também que a partir de $z = 6,12\text{m}$ o perfil de velocidade praticamente não varia, comprovando que o escoamento se encontra na região completamente desenvolvida.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

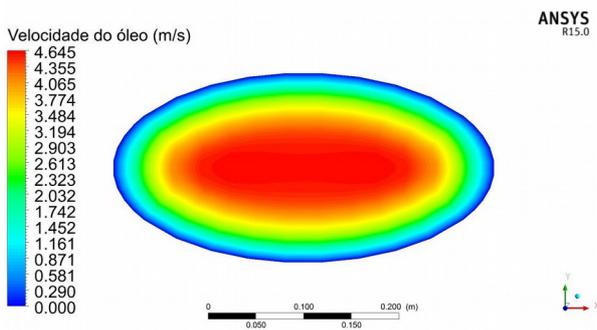


Figura 4: Perfil de velocidade do óleo no plano xy em $z = 0,5\text{m}$ para o caso 2.

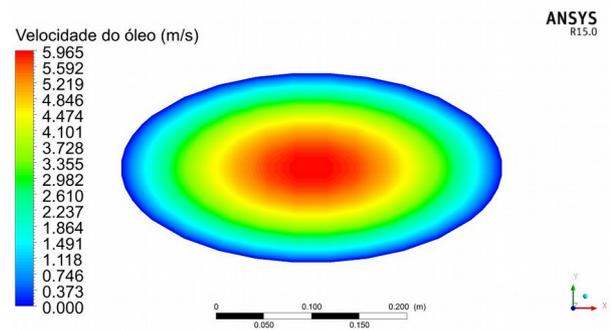


Figura 7: Perfil de velocidade do óleo no plano xy em $z = 8,0\text{m}$ para o caso 2.

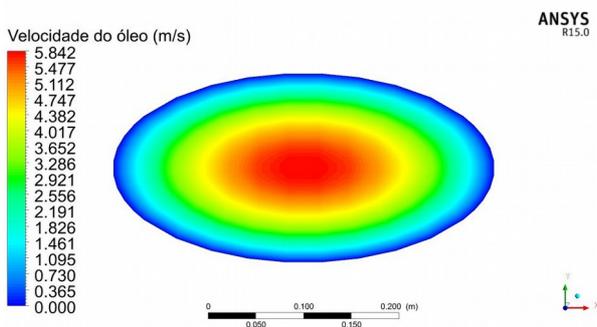


Figura 5: Perfil de velocidade do óleo no plano xy em $z = 2,78\text{m}$ para o caso 2.

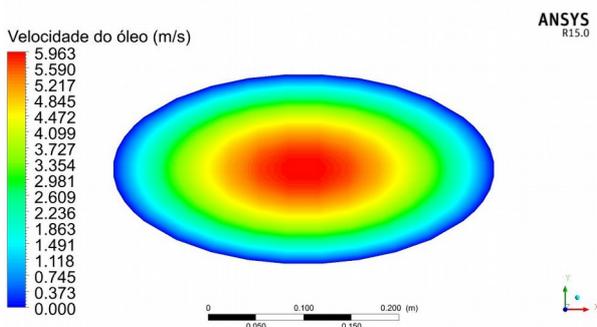


Figura 6: Perfil de velocidade do óleo no plano xy em $z = 6,12\text{m}$ para o caso 2.

Para que ocorra o deslocamento dos fluidos, é necessária uma diferença de pressão entre o ponto inicial e final do escoamento. Esse comportamento é observado nas Figuras 8-10. A diferença de pressão é consequência da atuação das forças viscosas durante o escoamento dos fluidos.

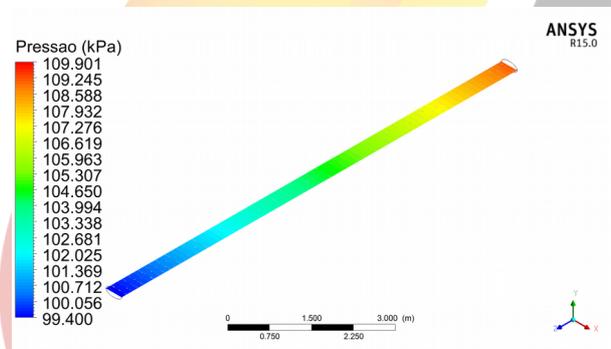


Figura 8: Distribuição de pressão sobre o plano zx para o caso 1.

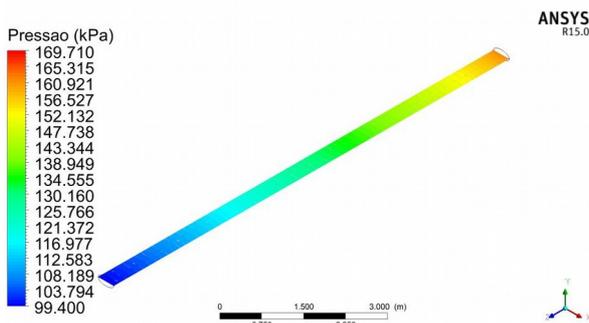


Figura 9: Distribuição de pressão sobre o plano zx para o caso 2.

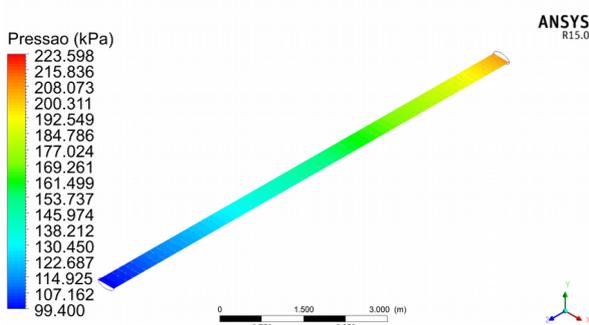


Figura 10: Distribuição de pressão sobre o plano zx para o caso 3.

Tabela 5: Queda de pressão obtida numericamente.

Casos	Velocidade (m/s)		ΔP (kPa)
	óleo	água	
1	0,5	3,0	10,501
2	3,0	3,0	70,310
3	5,0	3,0	124,198

A Tabela 5 apresenta a queda de pressão obtida numericamente para os casos estudados. Pode-se observar que, quanto maior a velocidade do óleo, maior a queda de pressão. Isto ocorre devido ao maior atrito provocado em consequência do aumento da

velocidade do óleo, cujo é responsável pelo aumento da vazão de óleo no duto.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados, pode-se afirmar que o cálculo para o comprimento de entrada hidrodinâmico analítico não apresentou boa precisão para os casos estudados.

Os resultados numéricos obtidos a partir da simulação do escoamento de óleo e água em dutos elípticos evidenciaram que a queda de pressão se mostrou influenciada pela velocidade de entrada do óleo. Quanto maior a velocidade da fase óleo, maior a queda de pressão no duto.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, FINEP, CNPq, ANP e PETROBRAS SA pelo suporte financeiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KAKAÇ, S.; SHAH, R. K.; AUNG, W. *Handbook of single-phase convective heat transfer*. John Wiley&Sons, 1987.

PACHECO, F.; CAVALCANTE, C. C. P.; MENDES, J. R. P.; BANNWART, A. C.;



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

SERAPIÃO, A. B. S. *Identificação de padrões de escoamento multifásico e determinação da perda de carga com o auxílio de redes neurais*. IV Congresso Brasileiro de Petróleo e Gás, Campinas, 2007.

ROHSENOW, W. M.; HARTNETT, J. P.; CHO, Y. I. *Handbook of heat transfer*. McGraw-Hill, 1998.

SANTOS, W. R. G.; BARBOSA, E. S.; FARIAS, S. R.; LIMA, A. G. B. *Hidrodinâmica do Escoamento Multifásico em Duto Vertical com Vazamento*. 7º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás – 7º PDPetro, Aracaju, 2013.

SARMENTO, L. R. B.; LEITE, B. E.; FARIAS NETO, S. R.; LIMA, A. G. B. *Hydrodynamics of oil-water with leakage by CFD*. Defect and Diffusion Forum, v. 348, p. 58-63, 2014.

WOLFRAM, S. *The mathematic book*. Wolfram Research, 2003.

ZHU, Y. D.; SHU, C.; QIU J.; TANI, J. *Numerical simulation of natural convection between two elliptical cylinders using DQ method*. International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 47, pp. 797–808, 2004.



www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br